

Джон Бетмен, Брайан Кинг (Texas Instruments)



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАТНОХОДОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Во многих устройствах применяют **обратноходовые преобразователи (flyback)** из-за простоты и низкой стоимости, а не из-за их высокой эффективности. Не спешите отказываться от их применения, так как всего несколько рекомендаций инженеров компании **Texas Instruments** помогут Вам **сократить потери почти на 10%**.

В стандартном обратноходовом преобразователе выходной выпрямительный диод вносит существенный вклад в суммарные потери преобразования. Средний ток в выходном диоде равен постоянному выходному току, а пиковое значение тока может быть в несколько раз выше, в зависимости от длительности рабочего цикла. Падение напряжения на диоде Шоттки около 0,5 В, на стандартных диодах с PN-переходом — 0,8 В. Такое падение напряжения на диоде ведет к относительно высоким потерям и значительному снижению КПД. Использование транзистора MOSFET вместо диода при синхронном выпрямлении значительно уменьшает потери преобразования. На рисунке 1 представлен стандартный способ преобразования источника питания с диодным выпрямителем в источник питания с синхронным выпрямлением на МОП-транзисторе.

Для преобразования DC/DC с топологией flyback (а) в конвертер с синхронным выпрямлением можно заменить выходной диод МОП-транзистором с каналом n — типа (MOSFET) и добавить обмотку к силовому трансформатору для формирования сигнала управления MOSFET.

Низкое сопротивление МОП-транзистора в открытом состоянии приводит к меньшим потерям, чем сопротивление выходного диода.

Таким образом, значительно увеличивается КПД при одинаковой нагрузке. Принцип работы преобразователя с топологией flyback и выпрямительным диодом существенно отличается от синхронного обратноходового преобразователя с МОП-транзистором. На рисунке 2 представлены осциллограммы напряжения и тока в обратноходовых преобразователях с выпрямительным диодом (а) и с МОП-транзистором (б) в режиме синхронного выпрямления.

Выходной диод в стандартном обратноходовом преобразователе не позволяет току во вторичной обмотке трансформатора протекать в обратном направлении. При малой нагрузке эта ситуация ведет к переходу в режим с разрывом тока, при котором ток вторичной обмотки трансформатора полностью уменьшается до нуля в конце каждого цикла (а). Через

синхронный МОП-транзистор ток может протекать и в обратном направлении, благодаря чему синхронный преобразователь работает в режиме без разрыва тока независимо от величины нагрузки (б).

В схеме с МОП-транзистором при синхронном выпрямлении перепады тока значительно меньше по сравнению со схемой с выпрямительным диодом, поэтому синхронный выпрямитель обеспечивает лучшие динамические характеристики даже при нулевой нагрузке. Однако эффективность преобразования конвертера с синхронным выпрямителем сильно снижается при малой нагрузке, так как обратный ток через транзистор становится соизмерим с выходным током. Суммарные потери в трансформаторе и МОП-транзисторе при синхронном выпрямлении из-за обратных токов больше, чем аналогичные потери в схеме с выпрямительным диодом, так как в последней схеме обратный ток во много раз меньше выходного тока.

Хотя синхронный МОП-транзистор значительно снижает тепловые потери, его использование приводит к снижению эффективности

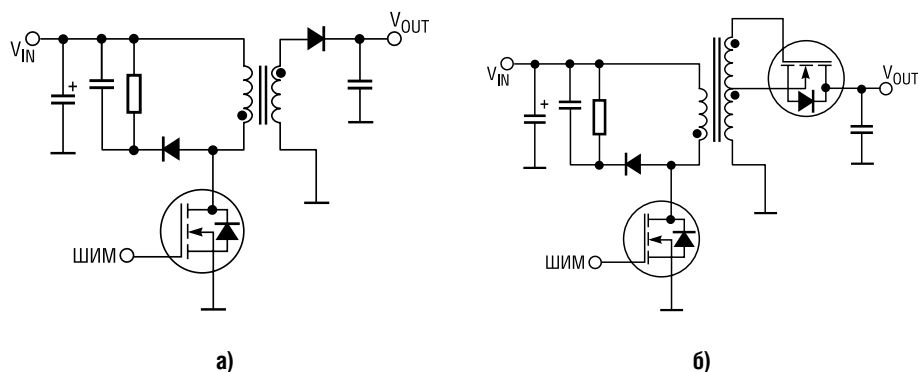


Рис. 1. Замена диода на МОП-транзистор с синхронным выпрямлением
а) до замены, б) после замены



Рис. 2. Осциллограммы напряжения и тока в обратноходовых преобразователях

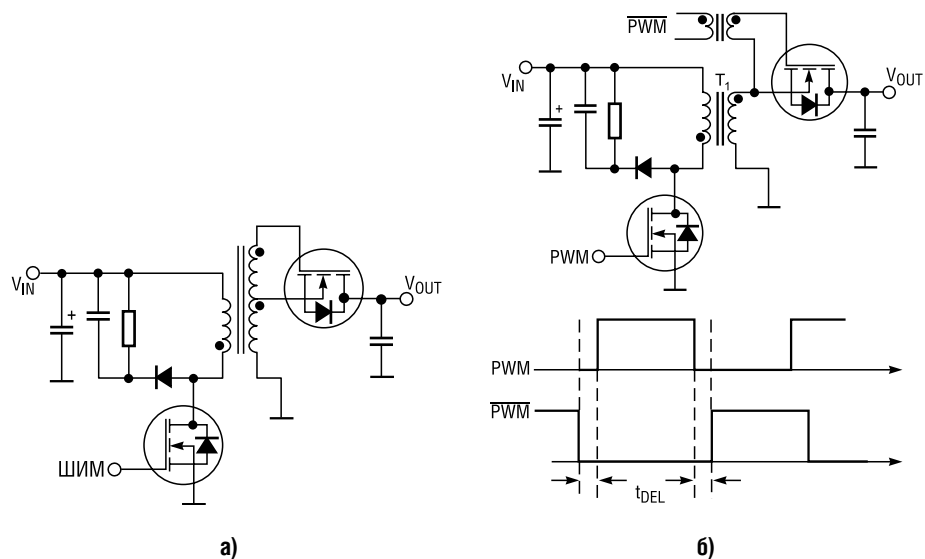


Рис. 3. Введение регулируемой задержки при включении и выключении транзистора синхронного выпрямителя для устранения сквозных токов
а) без задержки, б) с задержкой

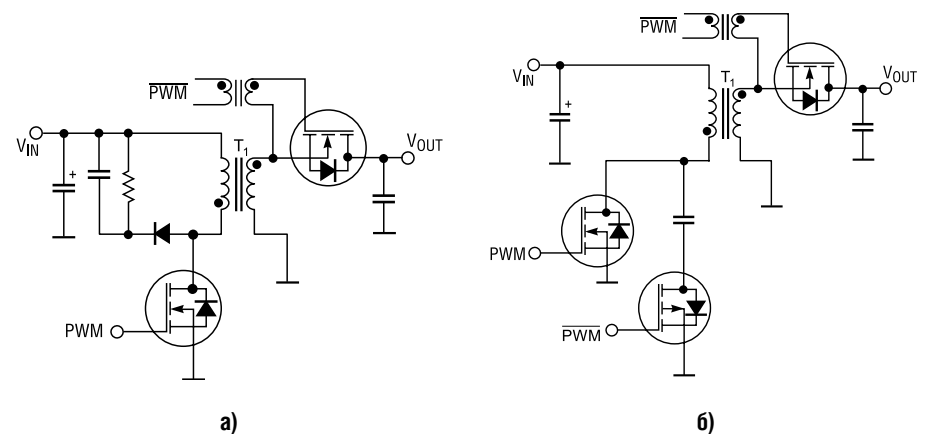


Рис. 4. Осциллограммы напряжения и тока в обратноходовых преобразователях

преобразования из-за большого обратного тока. Потери в ключе также происходят из-за входной емкости затвора МОП-транзистора, который заряжается и разряжается в течение каждого цикла. Для исключения сквозных токов начало открывания транзистора

на первичной обмотке трансформатора должно немного опережать начало закрывания транзистора синхронного выпрямителя. Такая ситуация провоцирует короткое замыкание в трансформаторе во время включения и может привести к значительным потерям энер-

гии. В управляемом синхронном обратноходовом преобразователе при включении первичного МОП-транзистора должен выключаться транзистор синхронного выпрямителя. Следовательно, невозможно устранить сквозные токи в то время, когда силовой трансформатор передает сигнал непосредственно синхронному МОП-транзистору. Управляемый синхронный МОП-транзистор должен иметь минимальные задержки при включении и выключении для минимизации потерь от сквозных токов. Хотя правильно сконструированный преобразователь с синхронным выпрямителем вносит дополнительные потери переключения, тепловые потери при его использовании значительно ниже, чем потери из-за прямого падения напряжения на выпрямительном диоде. Одно это достоинство синхронного выпрямителя перевешивает все недостатки при его использовании.

На рисунке 3 показано, как можно добавить в синхронный преобразователь изолированный сигнал управления затвором с регулируемой задержкой для устранения потерь от сквозных токов.

Дополнительный трансформатор необходим для обеспечения гальванической изоляции и обеспечения необходимого уровня на затворе транзистора синхронного выпрямителя. Для регулировки напряжения на первичной и вторичной сторонах синхронного выпрямителя необходим ШИМ-контроллер (PWM) типа UCC2897. Формируемые задержки должны быть достаточно длительными для того, чтобы синхронный МОП-транзистор успел полностью закрыться перед включением транзистора в первичной цепи. Чрезмерная задержка вызывает перегрев встроенного диода на одном или обоих транзисторах MOSFET и приводит к дополнительным потерям преобразования энергии. Поэтому необходимо использовать контроллер с регулируемой задержкой для минимизации потерь, так как оптимальное время выключенного состояния зависит от задержек на первичной и вторичной сторонах, скорости передачи сигнала, индуктивности рассеяния силового трансформато-

ра и параметров драйвера затвора МОП-транзистора.

На рисунке 4 показано, как дополнительно повысить (4б) эффективность преобразования, введя снабберные цепи и одновременно управляя первичной и вторичной цепями конвертера с помощью активного ограничения тока транзисторов. Такая конфигурация часто называется обратногоходовой DC/DC-преобразователь с активным демпфированием. В предыдущих схемах демпфер используется для уменьшения выброса напряжения между стоком и истоком на МОП-транзисторе первичной цепи. Выброс напряжения происходит при выключении транзистора первичной цепи и из-за утечки энергии в первичной обмотке трансформатора. Демпфер RCD (резистор – конденсатор – диод) рассеивает энергию импульса на резисторе снаббера, если амплитуда импульса превышает напряжение ограничения.

На рисунке 5 показано напряжение между стоком и истоком с регулируемой скважностью для синхронного обратногоходового выпрямителя в режиме холостого хода с использованием RCD-демпфера (а) и в режиме активного ограничения (б). Активное ограничение устраняет высокочастотные выбросы. Кроме того, активное ограничение выбросов напряжения значительно сокращает потери при переключении и снижает электромагнитные помехи.

В дополнение к фактическому устранению утечки тока активное ограничение напряжения и тока значительно снижает потери переключения и минимизирует электромагнитные помехи. Во многих случаях демпфер с активным ограничением позволяет использовать первичный МОП-транзистор с более низким напряжением сток – исток, который может еще больше сократить потери, так как низковольтные МОП-транзисторы имеют меньшее сопротивление канала в открытом состоянии, а следовательно, и меньшие тепловые потери.

На рисунке 6 показано, как можно повысить КПД преобразования обратногоходового преобразователя в реальных условиях эксплуатации.

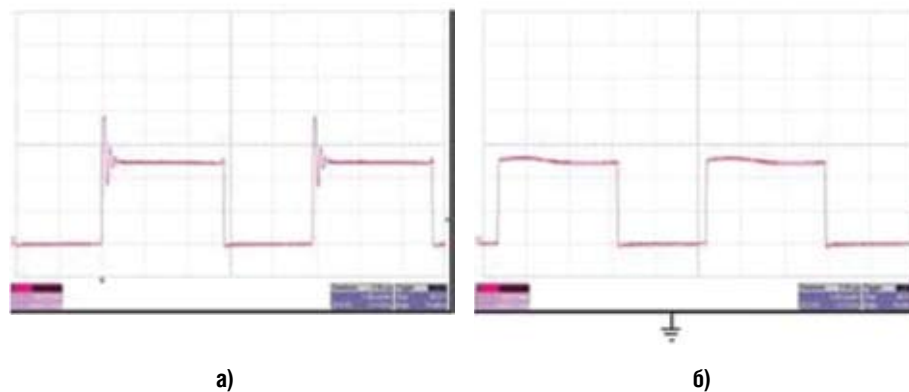


Рис. 5. Напряжение между стоком и истоком обратногоходового выпрямителя в режиме холостого хода с использованием RCD-демпфера (а) и в режиме активного ограничения (б)

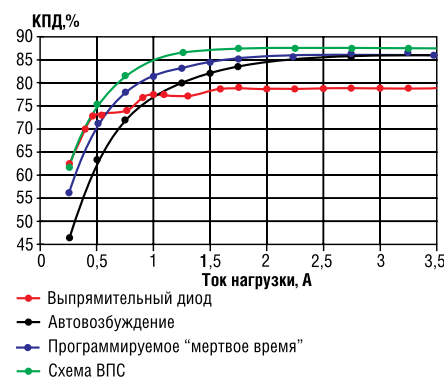


Рис. 6. Улучшение параметров DC/DC-преобразователей с переходом на более эффективные схемы конвертеров

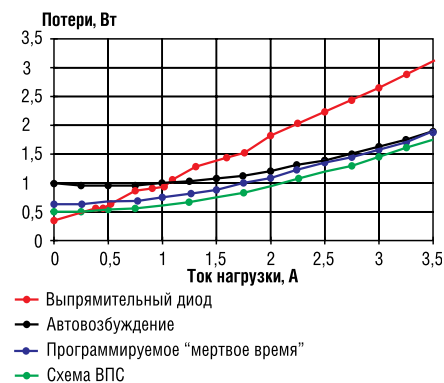


Рис. 7. Эффект от добавления схемы управления задержкой

Источник питания преобразует напряжение 48 В в выходное напряжение 3,3 В с максимальным током до 3,5 А. Переход от схемы с выпрямительным диодом к схеме обратногоходового преобразователя с синхронным выпрямлением повышает КПД преобразования более чем на 7%, но при выходном токе менее 1 А эффективность преобразования значительно уменьшается. Такая ситуация возникает из-за потерь в драйвере затвора, а также потерь из-за сквозных токов при переключении, к которым приводит использование синхронного выпрямителя на МОП-транзисторах.

Дополнение системы регулируемой длительности паузы между импульсами значительно увеличивает эффективность преобразования при малых значениях нагрузки и устраняет потери от сквозных токов. (см. рис. 7) КПД при полной нагрузке остается почти неизменным, так другие типы потерь доминируют над потерями синхронного МОП-транзистора.

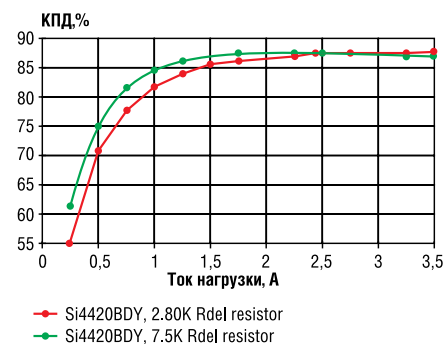


Рис. 8. Зависимость КПД от тока нагрузки для разных пауз между импульсами

На рисунке 8 представлены графики зависимости КПД при разных длительностях паузы между импульсами в схеме с активным ограничением, а также их влияние на эффективность преобразования для разных режимов нагрузки. Более длительная задержка, устанавливаемая на ШИМ-контроллере UCC2897, требует большего номинала задающего резистора и значительно увеличивает КПД при малых нагрузках, уменьшая потери от сквозных токов в этом режи-

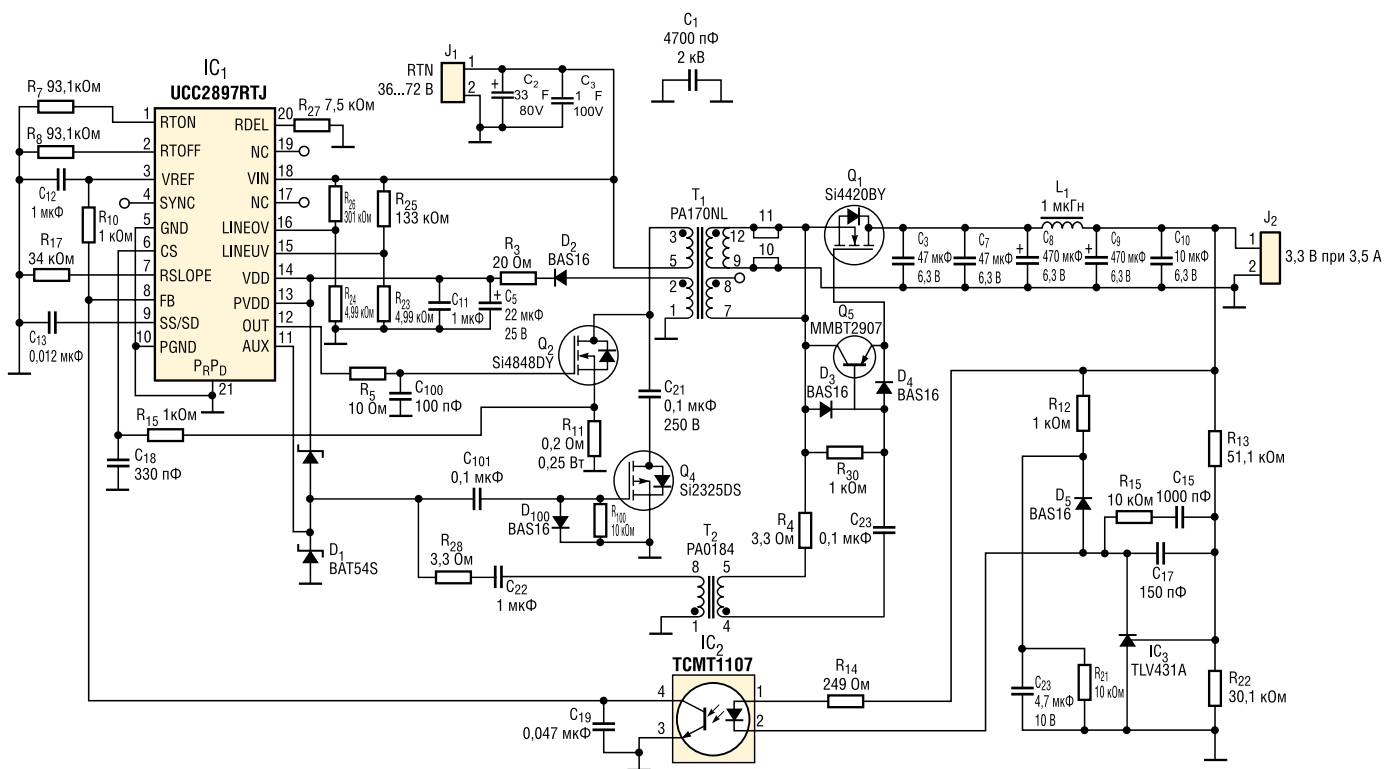


Рис. 9. Источник питания обратноходового преобразователя с активным ограничением

ме. Но такая длительная задержка увеличивает тепловые потери синхронного МОП-транзистора и

при полной нагрузке снижает его КПД преобразования на 1%. Тепловые потери встроенного диода

синхронного МОП-транзистора при полной нагрузке превышают потери из-за сквозных токов при использовании более низкого сопротивления, задающего длительность паузы между импульсами. В некоторых ситуациях вам придется выбрать между максимальной производительностью на малых нагрузках по току и максимальной нагрузкой, выбирая подходящие значения резистора, определяющего длительность задержки.

На рисунке 9 представлен источник питания обратноходового преобразователя с активным ограничением, обеспечивающий данный конвертер всеми перечисленными в статье способами повышения эффективности преобразования. Эта схема при максимальной нагрузке имеет КПД на 10% больше, чем при малых выходных токах и имеет почти такую же эффективность на малых нагрузках, как и оригинальная схема с выпрямительным диодом.

ШИМ-КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Наименование	Количество ШИМ-выходов	Частота, кГц	Способ управления	Топология	Температурный диапазон, °С
UCC28600	1	130	Ток	Обратноходовой	-40...105
UCC2897				Мостовой	
UCC3895	4	1000	Ток, напряжение	Повышающий, Понижающий, Мостовой	0...70
UCC28C44	1			Повышающий, Обратноходовой, Прямоходовой	-40...85
UCC38C44				Повышающий, Понижающий, Обратноходовой, Прямоходовой	0...70
UCC35701		700	Напряжение		

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: theory.vesti@compel.ru